IV Conferencia Panamericana de END
Buenos Aires – Octubre 2007

REPLICAS METALOGRAFICAS COMO ENSAYO NO DESTRUCTIVO USADAS PARA LA EVALUACION METALURGICA DEL MATERIAL DE TUBOS DE CALDERA

Marta López Jenssen y Ana Hidalgo Aedo

Departamento Ing. de Materiales, Universidad de Concepción
Concepción, Región del Bío-Bío, Casilla 160-C, Chile,
56-41-2204122; 56-41-2203391
marlope@udec.cl ahidalgo@udec.cl

Dagoberto Obreque Quezada (**) IngenieriaDOQ.
Concepción, Región el Bío-Bío, Chile
dobreque@ingenieriadoq.cl

Resumen

Las réplicas metalográficas utilizadas como técnica no destructiva en tubos de caldera de Planta de Poder y analizadas en diferentes períodos de tiempo, permitieron determinar con bastante exactitud el estado metalúrgico y la degradación del manto de tubos y paneles de carácter austeníticos y ferríticos correspondientes a sobrecalentadores y recalentadores de alta y baja temperatura por su exposición a altas temperaturas. Dado que los procesos de degradación metalúrgicos por efecto térmico de estos tubos se originan principalmente desde la superficie externa o manto, los resultados extraídos a partir de las réplicas, permitieron evaluar el estado microestructural y la incipiente degradación superficial del material de los tubos, y así planificar la decisión de extracción de tubos y/o partes de ellos para ensayos destructivos en una próxima parada de planta.

Abstract

The metallographic replicas used as nondestructive techniques in the boiler of a power station, analyzed at different periods of time, allowed to accurately determine the metallurgical condition of tubes and panels external layers with austenitic and ferritic characteristics, part of superheaters and reheaters of high and low temperatures exposed to high temperatures. As the metallurgical degradation processes due to thermal effects of these tubes are mainly originated from the outer surface or external layers, results got from replicas permitted to assess the microstructural state and the incipient surface degradation of the tube material, thus to plan the decision of removing the tubes and/or parts of them to be used in destructive tests during the next plant shutdown.

1. Introducción

La metalografía no destructiva o réplica metalográfica es una de las técnicas contempladas en los ensayos no destructivos, utilizada en forma no rutinaria para detectar heterogeneidades y defectos superficiales que se manifiestan en equipos y componentes en servicio que trabajan a presión y temperatura en forma continua, toda vez que no se pueda extraer una muestra metalográfica para conocer los cambios microestructurales que hubiesen ocurrido. La réplica metalográfica consiste en copiar la textura y relieves (interfases como junturas de grano, límites de maclas, depresiones por presencia carburos, microgrietas, etc.) de la superficie de cualquier aleación o metal mediante la utilización de un celuloide, el cual se prepara adecuadamente y se presiona sobre la superficie preparada en forma similar a cualquier probeta metalográfica de laboratorio, pero con un sobreataque químico para magnificar las interfases mencionadas y relieves que puedan ser copiados por el celuloide.
La réplica metalográfica permite detectar cambios microestructurales a nivel de la superficie de los componentes como: grafitización de aceros al carbono, crecimiento de grano, descarburización y globulización de la perlita o cementita en la perlita. En aceros microaleados, como aceros de la familia Cr-Mo, se puede evaluar el grado de coalescencia de los carburos, carburización superficial, desarrollo de microcavidades de creep, microgrietas de fatiga, mecanismos de recristalización, evidencias de bandas de deformación y maclado, y otras transformaciones de fases. Las etapas críticas de esta técnica, las constituyen por una parte, la preparación meticulosa y adecuada de la superficie y por otra parte, el análisis de la réplica con la interpretación correcta y precisa de las marcas y huellas dejadas en el celuloide, por un experto metalógrafo con conocimiento de microestructuras de materiales, por cuanto rayas o zonas sin un copiado exacto de los relieves, dan lugar a malas interpretaciones por parte de personas no especializadas.
Por otra parte, el estudio del estado microestructural de los componentes de una Planta de Poder, se basa en la especificación de los puntos de obtención de réplicas metalográficas en terreno, considerando un plan de mantenimiento anual de la Planta, basado en un análisis de las zonas más críticas expuestas a la degradación metalúrgica del material de paneles o bancos de tubos debido a los parámetros de operación que existen en las diferentes zonas y elementos de la cámara de combustión de la Planta; así como también por cambios de variables de operación como el uso de nuevos combustibles o mezclas de ellos.
Así, en este trabajo, se exponen las condiciones y componentes críticos con zonas específicas y materiales a evaluar, el procedimiento para la toma de réplicas “in situ”, y los resultados del análisis microestructural-defectológico realizado en microscopio óptico a los paneles o placas de tubos, con las conclusiones y recomendaciones.

2. Procedimiento realizado

2.1 Especificación de puntos de obtención de réplicas

La especificación de los puntos de obtención de réplicas, se basa en los estudios previos de la geometría de la planta de poder y distribución de los paneles y elementos expuestos a altas temperaturas y gases de combustión, por evaluaciones de deterioro acelerado detectado por técnica de ensaye de espesores (END).

Tabla 1. Características generales de la Planta de Poder

Característica	Especificación
Superficie de calefacción	2260m2
Volumen del hogar	2.420m2
Presión de sobrecalentador	147kg/cm2
Sobrecalentador	Tubos horizontales colgantes
Recalentador	Tipo colgantes con dos bancos
Domos	uno
Producción de vapor	400ton/hr

Tabla 2. Especificación puntos de obtención de réplicas

Zona de la Planta Poder o Caldera	Puntos específicos para toma de réplicas	Número Réplicas
Zona A Banco Superior Sobrecalentadotes de Baja Temp.	 Parte Superior ;Tubo 49 Parte Superior ;Tubo 22-37-62-77	 1 4
Zona B Banco Inferior Sobrecalentadotes de Baja Temp.	 Parte Superior ;Tubo 50 Parte Superior ;Tubo 22-37-62-78	 1 4
Zona C Recalentadores de Baja Temperatura	Nivel mitad Superior ;Tubo10-40 Nivel mitad Inferior ;Tubo 5-30 Zona Curva inferior ;Tubo 21	2 2 1
Zona D Recalentadores de Alta Temperatura	Nivel mitad Sup. ;T: 5-7-10-17-18-25 Nivel mitad Inf. ; T: 14-23-28-32 Zona Curva Inf. ; T: 11-15-20-24-34	6 4 5
Zona E Sobrecalentadotes de Alta Temperatura	Paneles. Primer tubo externo y el interno -5-7-8-11-12-13-14-17-18-19	20

2.2 Preparación de las superficies

La preparación de superficies de análisis, tiene importancia relevante para la obtención nítida de las microestructuras en el examen metalográfico. Considera desbaste primario, secundario, pulido primario y secundario o final, con alúmina de 3 y 1 micrón respectivamente. Lavado con H2O-alcohol de zonas, después de desbaste y pulido.

2.3 Ataque con reactivos químicos

Considerando la aleación de fabricación de los tubos y paneles; aceros austeníticos y ferríticos, se utilizó como reactivo químico adecuado para ello, el reactivo Marble.

Figura 1. Zona E: Sobrecalentador de Alta Temperatura. Se observan tres zonas preparadas para obtención de réplica.

Tabla 3. Especificación de material de tubos

Zona de Planta Poder o Caldera	Puntos Distribución	Norma Acero
Zona A Banco Superior Sobrecalentadores de Baja Temp.	 Tubos Parte Superior	 ASME SA-213 T11
Zona B Banco Inferior Sobrecalentadores de Baja Temp.	Tubos Parte Superior Parte Superior	 ASME SA-192 ASME SA-213 T11
Zona C Recalentadores de Baja Temperatura	Nivel mitad Sup. Nivel mitad Inf. Zona Curva Inf.	ASME SA-213 T11 ASME SA-213 T11 ASME SA-213 T11
Zona D Recalentadores de Alta Temperatura	Nivel mitad Sup. Nivel mitad Inf. Zona Curva inf.	ASME SA-213 T11 ASME SA-213 T11 ASME SA-213 T11
Zona E Sobrecalentadotes de Alta Temperatura	Paneles Primer tubo ext. Primer tubo int.	 ASME SA-231 AISI 321 ASME SA-213 T22

2.4 Obtención de Réplica y análisis microscópico

Se aplicó un líquido emulsificante base acetona sobre cada film de acetato de celulosa STRUERS. Después de 1 minuto de ablandamiento de la réplica, ésta se aplica sobre la superficie con ataque químico previo, presionando la réplica sobre la superficie de análisis, de manera que permita copiar los relieves de la superficie en ella.
Después de 5 minutos, la réplica se retira y pega sobre un vidrio portaobjeto. El proceso se repite en triplicado para cada punto de análisis, obteniéndose así 3 réplicas por punto.

La parte posterior de la réplica contiene un aluminizado que permite la reflexión de la luz y observación en el microscopio óptico de hasta 1000X, equipado con un Analizador de imagen marca BUEHLER.

Figura 2. Zona E: Sobrecalentador de Alta Temperatura. Se observa una zona preparada con la réplica secándose.

3.0 Resultados

Los resultados de sólo algunos sectores o zonas inspeccionadas y analizados por réplicas metalográficas se presentan en este trabajo, dada la magnitud de imágenes procesadas para cada sector.
Las zonas mas relevantes considerados interesantes de mostrar son: A, B, D y E.

3.1 Zona A

Acero ASME SA 213 T11 (5 tubos)

La microestructura del acero al Cr-Mo con 1,25 % Cr y 0,5 % Mo, utilizado en los 5 tubos inspeccionados, muestra una estructura homogénea constituida por ferrita poliédrica, tamaño de grano pequeño; 7-8 ASTM con una dispersión escasa de carburos finos de Mo. No se observa coalescencia de carburos que sugiera una pérdida de propiedades mecánicas y pérdida de resistencia al creep. No se observa crecimiento de grano y no hay evidencia de cavidades por creep. La figura 3, muestra la microestructura capturada mediante réplica.

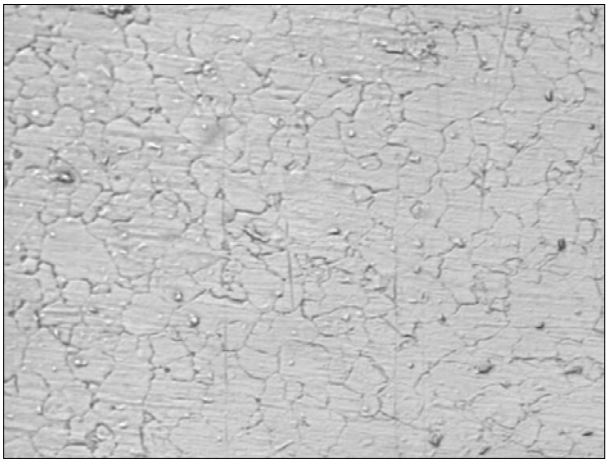


Figura 3. Fotomicrografía tomada con magnificación de 400X. Se observa una microestructura constituida por ferrita poliédrica y carburos en gran cantidad, distribuidos en la matriz.

3.2 Zona B

Acero al carbono ASME SA 192 (4 tubos)

La microestructura de los aceros al carbono de los tubos inspeccionados, muestran una estructura homogénea correspondiente a ferrita poliédrica de tamaño de grano promedio 7-8 ASTM. La escasa perlita presente no es observable y sólo se detecta como un carburo de hierro del tipo Fe_3C, en algunas zonas muy puntuales entre límites de grano. La figura 4, muestra la microestructura capturada mediante réplica.

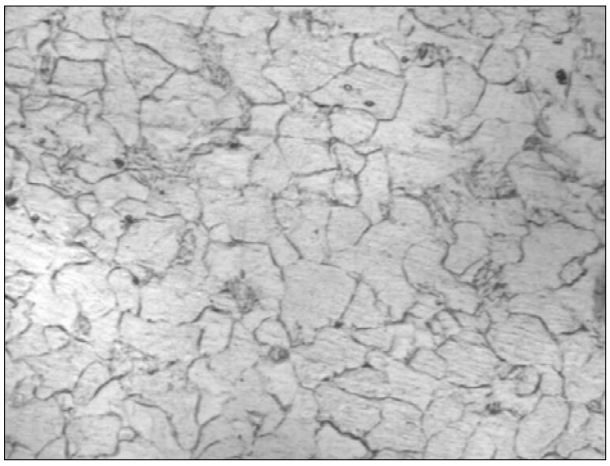
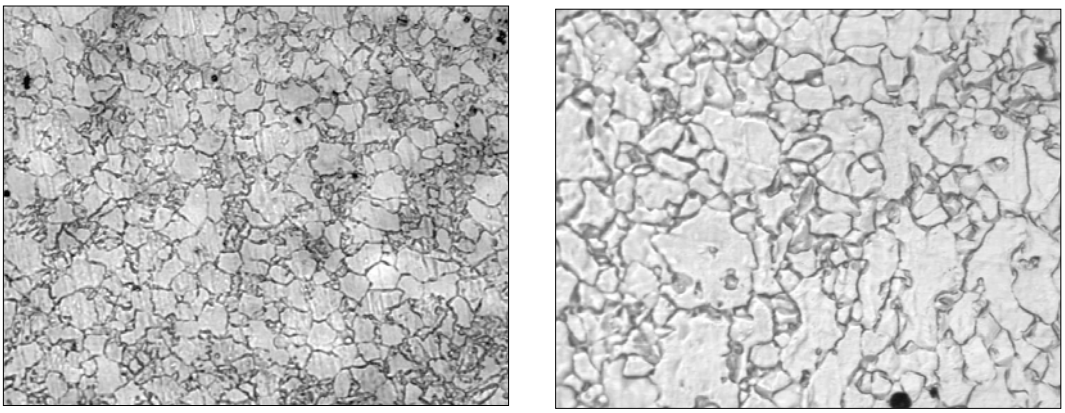


Figura 4. Fotomicrografía tomada con magnificación 400x. Se observa una microestructura constituida por ferrita poliédrica y escasa “perlita” como carburo de hierro F_3C globular, distribuido en la matriz.

3.3 Zona D

Acero ASME SA 213 T22 sectores internos.

La microestructura de los aceros Cr-Mo con 2 ¼ %Cr y 1% Mo, utilizados en reemplazo de aceros inoxidables austeníticos, muestran una estructura de grano poliédrico de ferrita, la cual está reforzada por una dispersión homogénea de carburos compuestos de Cr-Mo precipitados, tanto en el interior de los granos como en límites de grano. No se observa coalescencia de carburos que indique una pérdida de propiedades mecánicas y en particular de pérdida de resistencia al creep. No se observan cavidades de creep, ni signos de termofatiga. El tamaño de grano es 6-7 ASTM, sin variaciones entre los diferentes tubos para posiciones similares. El acero de los tubos no ha desarrollado cambios respecto de sus similares informados en parada de planta realizada 1 año antes. La figura 5, muestra la microestructura capturada mediante réplica.



5 a 5b

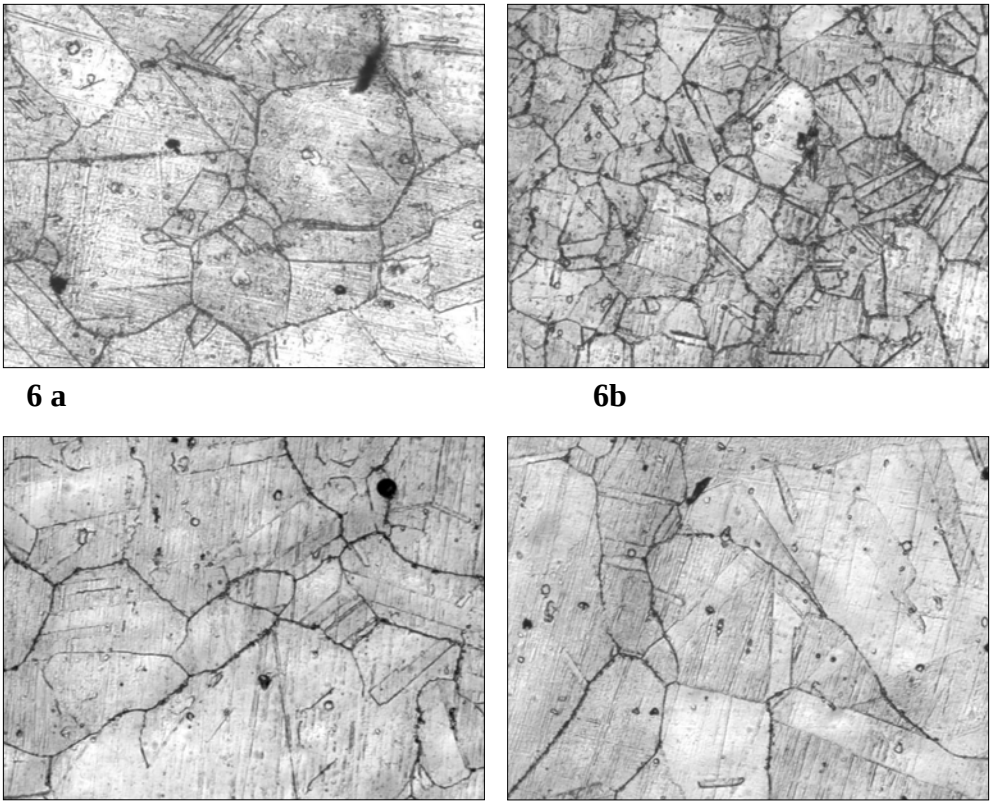
Figura 5. Fotomicrografías tomadas con diferentes aumentos en zonas cercanas (2 réplicas). Fig.5a x200 y Fig. 5b x 400. Se observa una microestructura constituida por ferrita poliédrica y carburos distribuidos en la matriz.

3.4 Zona E

Acero ASME SA 231 tipo AISI 321 H

Acero inoxidable austenítico reforzado con titanio en una proporción de 5x (%C). El Ti se incorpora al acero para precipitar como carbonitruro de titanio al interior del grano austenítico y evitar así la precipitación de carburos de cromo en límites de grano en el acero inoxidable y por ende reforzarlo a la temperatura de trabajo para resistir la termofluencia. Todos los puntos externos analizados de los diferentes paneles donde hay AISI 321H, muestran una estructura de grano austenítico poliédrico y algo angular, con tamaño de grano 4-5 ASTM y con una dispersión homogénea de carbonitruros de Ti. Algunos sectores muestran tamaño de grano mayor de 3-4 ASTM por efecto térmico y otros sectores con tamaño menor de 5-6 ASTM. En todos los paneles se observa aún la presencia de maclas, que corresponden a evidencias del proceso de conformado de los tubos y que no se ha eliminado por efecto del tiempo expuesto a las temperaturas de trabajo. No se observa evidencia de daño por CREEP, como tampoco signos de fatiga térmica.

Aceros en muy buen estado. La figura 6, muestra la microestructura capturada mediante réplica.



6 a **6b**

6c **6d**

Figura 6. Fotomicrografías tomadas a sector paneles con diferentes aumentos. Fig. 6 a, 6b y 6c x200, Figura 6b x100, tamaño de grano 3-4 ASTM, presencia de maclas. Microestructura constituida por austenita y carbonitruros de Ti diseminados en la matriz.

4.0 Conclusiones

La metalografía por réplicas es una excelente técnica no destructiva, que permite conocer los cambios microestructurales generados por efecto de la temperatura y el tiempo de operación, en los tubos y paneles de diferentes sectores de una caldera o Planta de poder.

Los resultados relevantes que se pudieron concluir de este estudio mediante la toma de réplicas se resume como:

- En general los diferentes aceros presentan una estructura homogénea constituida por granos de ferrita o austenita, ambas fases reforzados por la dispersión de carburos. La excepción, la constituye el acero al carbono ASME SA 192, el cual no presenta dispersión de carburos microaleados.

- En los aceros inoxidables de los paneles correspondientes a la zona E, la fase austenita mantiene su estructura original sin la eliminación de maclas del proceso de conformado por efecto térmico prolongado. Lo anterior, viene a corroborar el excelente estado de estos paneles.
- No se observa evidencia de daño por efecto térmico como creep y coalescencia de carburos (engrosamiento de los carburos).
- El crecimiento de granos que ha experimentado el acero de los tubos en la zona D, sector curva, por exposición prolongada a mayores temperaturas en el período de un año desde la inspección anterior es muy leve.
- El estado estructural de los aceros de todos los tubos y paneles es óptimo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a STRUERS y al Laboratorio de Caracterización de Materiales del Departamento de Ing. de Materiales, las facilidades de uso de equipamiento y materiales disponibles para llevar a cabo este estudio.